

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Veröffentlichung
⑪ DE 3991622 T1

⑤① Int. Cl. 5:
B 23 H 7/02

- der internationalen Anmeldung mit der
⑧⑦ Veröffentlichungsnummer: WO 90/12671
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 int. Pat. ÜG)
- ②① Deutsches Aktenzeichen: P 39 91 622.7
⑧⑥ PCT Aktenzeichen: PCT/JP89/00445
⑧⑥ PCT Anmeldetag: 27. 4. 89
⑧⑦ PCT Veröffentlichungstag: 1. 11. 90
④③ Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: 4. 4. 91

①

DE 3991622 T1

⑦① Anmelder:
Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP

⑦④ Vertreter:
Eitle, W., Dipl.-Ing.; Hoffmann, K., Dipl.-Ing.
Dr.rer.nat.; Lehn, W., Dipl.-Ing.; Fücksle, K.,
Dipl.-Ing.; Hansen, B., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Brauns, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Görg, K.,
Dipl.-Ing.; Kohlmann, K., Dipl.-Ing.; Ritter und Edler
von Fischern, B., Dipl.-Ing.; Kolb, H., Dipl.-Chem.
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte; Nette, A., Rechtsanw., 8000
München

⑦② Erfinder:
Magara, Takuji; Iwasaki, Takeshi; Suzuki, Toshio;
Yamamoto, Masahiro, Nagoya, Aichi, JP

⑤④ Mit Drahtschnitt arbeitendes elektroerosives Bearbeitungsverfahren

DE 3991622 T1

MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA, TOKYO / JAPAN

Mit Drahtschnitt arbeitendes elektroerosives Bearbeitungsverfahren

B E S C H R E I B U N G

GEBIET DER ERFINDUNG:

Die Erfindung betrifft ein mit Drahtschnitt arbeitendes, elektroerosives Bearbeitungsverfahren, bei welchem Drahtelektroden unterschiedlichen Durchmessers automatisch selektiv zur Bearbeitung eines Werkstückes verwendet werden.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG:

Im allgemeinen steht bei einem mit Drahtschnitt arbeitenden, elektroerosiven Bearbeitungsverfahren eine Drahtelektrode einem Werkstück gegenüber, wobei ein kleiner Spalt dazwischenliegt, und eine Impulsentladung wird zwischen dem Werkstück und der Drahtelektrode veranlasst, die kontinuierlich dem Werkstück zugeführt

2

W

wird, so dass das Werkstück mit der Entladungsenergie bearbeitet wird. Fig. 8 ist eine Darstellung, die die Anordnung einer selbsttätigen Vorschubeinrichtung für die Drahtelektrode in einer mit Drahtschnitt arbeitenden Funkenerosionsmaschine angibt, die beispielsweise durch die japanische Patentanmeldung (OPI) Nr. 80518/1985 offenbart wurde (der Ausdruck "OPI" bedeutet in diesem Zusammenhang eine "ungeprüfte veröffentlichte Anmeldung"). In Fig. 8 bezeichnet das Bezugszeichen (10) ein zu bearbeitendes Werkstück, das auf einem (nicht dargestellten) X-Y-Quersupport befestigt ist, der in horizontaler Ebene beweglich ist; (12a, 12b) zeigen Löcher für den Bearbeitungsbeginn, die vorab in einer Oberfläche des Werkstückes (10) gebildet werden; (14) eine Führung zum Halten der Drahtelektrode-Vorschubeinrichtung, wobei die Führung (14) fest an einer Achse montiert ist, die in Z-Achse-Richtung des (nicht dargestellten) Maschinenkörpers der mit Drahtschnitt arbeitenden Funkenerosionsmaschine beweglich ist, d.h. in einer vertikalen Richtung; und (16) ein Gleitstück, das einen Teil einer Antriebseinrichtung (17) bildet, wobei das Gleitstück (16) vertikal längs der Führung (14) verschiebbar ist. Das Gleitstück (16) steht in Eingriff mit einer Antriebsspindel (18), deren oberer Endabschnitt mit einem Antriebsmotor (20) gekoppelt ist, der fest am oberen Abschnitt der Führung (14) montiert ist, so dass das Gleitstück (16) mittels der Antriebsspindel (16) und des Antriebsmotors (20) selbsttätig an der Führung (14) verschoben wird. Eine Scheibenanordnung (22) ist am Gleitstück (16) befestigt. Die Scheibenanordnung (22) umfasst ein Paar Scheiben, nämlich eine Drahtelektrode-Zufuhrscheibe (24) und eine Klemmscheibe

(26). Die Antriebswelle der Drahtelektrode-Zufuhrscheibe (24) ist mit einem Drahtelektrode-Zufuhrmotor (28) gekoppelt, der am Gleitstück (16) befestigt ist. Die Scheibe (24) hat eine Einrichtung (29) zur Verhinderung einer Rückwärtsdrehung. Die Klemmscheibe (26) wird drehbar am Endabschnitt eines Verbindungselementes (32) gelagert, das drehbar an einem Stift (30) befestigt ist, der im Gleitstück (16) aufgenommen wird. Der hintere Endabschnitt des Verbindungselementes (32) ist mit dem Gleitstück (16) über eine Schraubenfeder (34) gekoppelt, so dass die Klemmscheibe (26) am Ende des Verbindungselementes (32) durch die Federkraft der Schraubenfeder (34) gegen die Drahtelektrode-Zufuhrscheibe (24) gedrückt wird.

Ferner bezeichnet in Fig. 8 das Bezugszeichen (36) eine Rohrführung (beispielsweise mit einem Aussendurchmesser von 2 bis 3 mm, in die die Drahtelektrode (38) eingeführt ist, um dadurch gehalten zu werden. Der obere Endabschnitt der Rohrführung (36) ist mittels eines Befestigungselementes (40) am Gleitstück (16) befestigt, das die Antriebseinrichtung (17) bildet. Eine Stromversorgungsführung zum verschiebbaren Halten der Drahtelektrode (38) ist in den unteren Endabschnitt der Rohrführung (36) eingesetzt. Eine vorgegebene Spannung wird zwischen der Rohrführung (36) und dem Werkstück (10) zugeführt. Wird die Rohrführung (36) in Anlage mit dem Werkstück (10) gebracht, so gibt ein Sensor (91) ein Sensorsignal ab. Abhängig von diesem Signal wird der Antriebsmotor (20) angehalten, und der Drahtelektrode-Zufuhrmotor (28) wird angetrieben, so dass die Drahtelektrode (38) durch die Rohrführung (36) vorgeschoben wird. Eine Klemmeinrichtung (42) ist am

unteren Endabschnitt der Führung (14) vorgesehen, um die Rohrführung (36) fest in einer vorbestimmten Position zu halten. Die Klemmeinrichtung (42) umfasst: eine Klemmplatte (44a), die fest am unteren Endabschnitt der Führung (14) befestigt ist, wobei die Klemmplatte (44a) eine V-Nut aufweist; und eine Klemmplatte (44b), die mit einer Zylinderspule (46) gekoppelt ist, die fest an der Führung (14) montiert ist. Bei Einschalten der Zylinderspule (46) wird die Klemmtafel (44b) von der Klemmtafel (44a) wegbewegt, d.h. der Klemmzustand wird beseitigt, womit die Rohrführung freigegeben wird. Wird die Zylinderspule abgeschaltet, so bewegt sich die Klemmtafel (44b) gegen die Klemmtafel (44a) infolge der Federkraft einer Schraubenfeder (48), die zwischen der Zylinderspule (46) und der Klemmtafel (44b) eingesetzt ist, so dass die Rohrführung erneut festgeklemmt wird.

Ferner bezeichnet in Fig. 8 das Bezugszeichen (50) eine Schneideinrichtung, die betrieben wird, um eine Drahtelektrode an einer vorgegebenen Stelle durchzuschneiden und den Abfall zu entfernen; und (52) bezeichnet einen Arm des Schneideinrichtungskörpers. Der Arm (52) ist fest mit der Antriebswelle eines Antriebsmotors (54) verbunden, der an der Seitenwand der Führung befestigt ist, so dass der Arm (52) durch den Antriebsmotor (54) in einer horizontalen Ebene verschwenkt wird. Ein Stab (56) ist im Inneren des Arms (52) derart angebracht, dass er am Arm (52) verschiebbar ist. Eine Zylinderspule (58) ist fest am Arm (52) montiert. ein Verbindungselement (62) ist schwenkbar auf einem Stift (60) befestigt, der in den Arm (52) eingesetzt ist. Wird die Zylinderspule (58) eingeschaltet, so wird der Stab

(56) über das Verbindungselement (62) gegen das vordere Ende des Arms (52) bewegt. Eine Schraubenfeder (64) ist zwischen dem hinteren Ende des Stabes (56) und der Seitenwand des Arms (52) zwischengeschaltet, so dass beim Ausschalten der Zylinderspule (58) der Stab (56) durch die Rückstellung der Schraubenfeder (64) gegen das hintere Ende des Armes geschoben wird. Eine Kante (66) und ein Klemmzapfen (68) sind fest an der vorderen Stirnseite des Stabes (56) montiert. Der Stab (56) wird gegen das vordere Ende des Armes (51) hin bewegt, so dass die zwischen der Stirnseite des Stabes (56) und der inneren Seitenwand des Armes (52) eingeführte Drahtelektrode mit dem Klemmzapfen (68) gehalten und mit der Kante (68) durchschnitten wird. Eine Schraubenfeder (70) wird zwischen dem Klemmzapfen (68) und der Stirnseite des Stabes (56) gehalten, um den Klemmzapfen (68) in zweckmässiger Weise zu belasten.

Ferner bezeichnet in Fig. 8 das Bezugszeichen (72) eine untere Elektrodenführung, die derart positioniert ist, dass sie jenseits des Werkstückes (10) der Elektrodenführung in der Rohrführung (36) gegenüberliegt. Die untere Elektrodenführung (72) hält die Drahtelektrode (38) in einer Position, in die sie eingeschoben wird. Eine Windeeinrichtung (74) ist unterhalb der unteren Elektrodenführung (72) vorgesehen. Die Windeeinrichtung (74) wird betrieben, um den Endabschnitt der Drahtelektrode (38), der durch das Werkstück (10) vorgeschoben worden ist, zu fördern, und um die abgetrennte Abfall-Drahtelektrode zu fördern, um sie damit vom Werkstück zu entfernen. Eine elektrische Speiseleitung (100) ist zwischen dem Eingang der

Windeeinrichtung (74) und der unteren Elektrodenführung (72) vorgesehen, um der Drahtelektrode (38) Strom zuzuführen. Die elektrische Speiseeinrichtung (100) und das Werkstück (10) sind mit der elektrischen Stromversorgung (101) für die Bearbeitung verbunden. Die Windeeinrichtung (74) umfasst drei Rollen (76a, 76b, 76c), und ein Endlosband (76d), das derart über die Rollen (76a, 76c) gelegt ist, dass die drei Rollen über das Endlosband (76d) aneinander anliegen. Die Antriebswelle der Rolle (76b) wird über Rollen (79a, 79b) und ein über letztere gelegtes Endlosband (79c) mit einem Antriebsmotor (78) und einer Winderolle (79d) gekoppelt. Die Winderolle (79d) liegt gegen eine Rolle (79e) an. Ein Führungsrohr (79f) ist zwischen den Windeabschnitten angebracht. Eine Spannung (93) wird zwischen der Rolle (79e) und der Drahtelektrode (38) oberhalb der Rohrführung (36) angelegt. Fließt dazwischen ein Strom, so gibt ein Sensor (92) ein Sensorsignal ab.

Eine Spannvorrichtung (80) ist über der Führung (14) vorgesehen, um ein Durchhängen der Drahtelektrode (38) zu verhindern, d.h. um die Drahtelektrode jederzeit wie erforderlich zu spannen. Die Spannvorrichtung (80) umfasst eine Spule (82) auf der die Drahtelektrode (38) aufgewickelt worden ist, und einen Anzugsmotor (84), der sich in einer Richtung entgegengesetzt zur Zufuhr der Drahtelektrode (38) dreht, um dadurch ein Lösen der Drahtelektrode von der Spule zu verhindern. Das heisst, der Anzugsmotor (84) gibt der Spule (82) eine gewisse Federkraft gegen die Zufuhr der Drahtelektrode (38).

Fig. 9 ist eine vergrösserte Schnittdarstellung, die einen Teil der auf diese Weise aufgebauten

Drahtelektrode-Vorschubeinrichtung darstellt, bei der die Drahtelektrode das Werkstück durchdringend zugeführt wird. In Fig. 9 werden jene Bauelemente, die bereits in Verbindung mit Fig. 8 beschrieben worden sind, durch die gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Ferner bezeichnet in Fig. 9 das Bezugszeichen (90) die erwähnte Elektrodenführung, die in den Endabschnitt der Rohrführung (36) eingesetzt ist. Die Elektrodenführung ist so ausgeführt, dass eine stempelartige Führung (95) aus Diamant über einen Sintermetallteil (96) in die Rohrführung (36) eingesetzt ist. Die untere Elektrodenführung (72), die unter dem Werkstück (10) liegt, umfasst eine stempelartige Führung (97) aus Diamant, die fest an einem Sintermetallteil (98) gehalten wird. Die untere Elektrodenführung (72) hat einen Drahteinführabschnitt (99) in Trichterform, der sich zur stempelartigen Führung (97) erstreckt. Der Durchmesser des Einlasses des Drahteinführabschnittes (99) ist grösser als der Aussendurchmesser der Rohrführung (36). Der Mittelpunkt der unteren Elektrodenführung (72) und der Einlass der Wickeleinrichtung, d.h. die Kontaktfläche der Rolle (76b) und des Endlosbandes (76d) sind im wesentlichen coaxial positioniert. Die elektrische Speiseleitung (100) ist derart positioniert, dass ihre Innenfläche, die an der Drahtelektrode (38) anliegt, gegenüber der Achse der unteren Elektrodenführung versetzt ist (beispielsweise um 0,5 bis 0,3 mm). Die elektrische Speiseleitung (100) hat einen Drahtelektrodeneinführungsteil in Gestalt eines Trichters, dessen Durchmesser grösser als der Ausgang der unteren Elektrodenführung (72) ist.

Bei der auf diese Weise aufgebauten, mit Drahtschnitt arbeitenden, elektroerosiven Bearbeitungsvorrichtung wird

die Drahtelektrode (38) selbsttätig in die im Werkstück (10) gebildeten Löcher (12a, 12b) für den Beginn der Bearbeitung in folgender Weise eingeführt: die Rohrführung (36) wird relativ zum Werkstück (10) bewegt, bis sie sich beispielsweise fluchtend im Loch (12a) befindet. Unter dieser Bedingung wird die Zylinderspule (46) eingeschaltet, um die Klemmeinrichtung (42) freizugeben, so dass die Rohrführung (36) freigegeben wird. Anschliessend wird der Antriebsmotor (20) betätigt, um das Gleitstück (16) längs der Führung (14) anzuheben, so dass die Rohrführung (36) bis zum oberen Ende der Führung (14) angehoben wird. Unter dieser Bedingung wird die Scheibenanordnung (22) des Gleitstückes (16) betätigt, um die Drahtelektrode in der Rohrführung (36) zuzuführen, bis der Endabschnitt der Drahtelektrode in der gewünschten Länge aus dem unteren Ende der Rohrführung (36) austritt. Der Antriebsmotor (54) der Schneideinrichtung (50) wird betätigt, um den Arm (52) um 180° gegen die Drahtelektrode (38) zu drehen, und die Zylinderspule (58) wird eingeschaltet, so dass die Drahtelektrode (38) mit der Kante (66), die am Ende des Stabes (56) vorgesehen ist, in solcher Weise durchschnitten wird, dass die Drahtelektrode (38) um eine vorbestimmte Länge (beispielsweise 3 bis 100 mm) vom unteren Ende der Rohrführung (36) absteht. Während die Abfalldrahtelektrode mit dem Klemmzapfen (68), der am Ende des Stabes (56) vorgesehen ist, festgeklemmt wird, wird der Antriebsmotor (54) betrieben, um den Arm (52) zur Ausgangsposition zurückzuführen. Dabei wird der Klemmzapfen (68) freigegeben, um die abgeschnittene Abfalldrahtelektrode zu entfernen. Anschliessend wird der sich über der Führung (14) befindliche Antriebsmotor (20) betätigt, um das Gleitstück (16) mit der Führung (14)

abwärts zu bewegen. Ist in diesem Fall der Durchmesser des Loches (12a) des Werkstückes (10) grösser als der Aussendurchmesser der am Gleitstück (16) befestigten Rohrführung (36), so wird die Rohrführung (36) in das Loch (12a) eingeführt, um vor der Elektrodenführung (72) zu liegen, die gemäss Fig. 9 unter dem Werkstück angeordnet ist. Ist der Durchmesser des Loches (12a) kleiner als der Aussendurchmesser der Rohrführung (36), so wird die Rohrführung (36) nach unten bewegt, bis sie in Anlage mit dem Werkstück (20) gelangt und der Sensor (92) arbeitet. Anschliessend wird die Scheibenanordnung (22) am Gleitstück (16) betätigt, um die Drahtelektrode (38) in die Rohrführung (36) vorzuschieben. Somit wird die Drahtelektrode in die Elektrodenführung (95) und die untere Elektrodenführung (72) eingeführt. Der Endabschnitt der auf diese Weise eingeführten Drahtelektrode, der durch den Drahtelektrodeneinführabschnitt (100b) der elektrischen Speiseleitung (100) geführt wird, erreicht die Windeeinrichtung (74), wo er gefördert wird. Erreicht die Drahtelektrode (38) die Scheiben (79d, 79e), so arbeitet der Sensor (92), um die Scheibenanordnung (22) und die Windeeinrichtung (74) anzuhalten, und um den Antriebsmotor (20) einzuschalten. Infolgedessen wird das Gleitstück (16) längs der Führung (14) aufwärts bewegt, so dass die Rohrführung (36) vom Werkstück (10) gelöst wird. Gelangt die somit gelöste Rohrführung in eine vorgegebene Position, so wird die Zylinderspule in den ursprünglichen Zustand gebracht, so dass der untere Endabschnitt der Rohrführung (36) an der Führung (14) mit der am unteren Ende der Führung (14) angebrachten Klemmeinrichtung (42) befestigt wird. Auf diese Weise wurde die Drahtelektrode (38) selbsttätig zugeführt und in das Loch des Werkstückes

für den Beginn der Bearbeitung eingesetzt. Nunmehr kann elektrischer Strom jederzeit zwangsläufig der Drahtelektrode (38) zugeführt werden.

Für den Fall, dass ein anormaler Zustand während der Bearbeitung eintritt und die Drahtelektrode bricht, wird nunmehr der Betrieb einer selbsttätigen erneuten Zuführung der Drahtelektrode beschrieben.

Ist die Drahtelektrode (38) gebrochen, so wird die Einrichtung (29) zur Verhinderung einer Rückwärtsdrehung der Scheibenanordnung (22) am Gleitstrück (16) wirksam, so dass die Drahtelektrode (38) in der Rohrführung (36) bleibt, obgleich die Spannvorrichtung (80) über die Führung (14) auf die Drahtelektrode einwirkt; d.h. die Drahtelektrode wird durch die Scheibenanordnung (22) eingeklemmt gehalten. Entsprechend wird die Drahtelektrode (38) zwischen der Spule (82) und der Rohrführung (36) weiterhin angehalten, und die Drehung eines Sensors (86) zur Erfassung der Drehbewegung wird angehalten, womit der Bruch der Drahtelektrode (38) angezeigt wird. In diesem Falle wird die Klemmeinrichtung (42) am unteren Ende der Führung (14) betätigt, um die Rohrführung (36) freizugeben, und der Antriebsmotor (20) wird betätigt, um die Rohrführung (36) zum oberen Ende der Führung (14) anzuheben. Die abgebrochene Abfall-Drahtelektrode wird vom Werkstück entfernt, indem die Windeeinrichtung (74) betätigt wird. Anschliessend wird die Rohrführung (36) relativ zum Werkstück (10) bewegt, bis sie sich in Fluchtung mit dem Loch (12a) des Werkstückes (10) für den Beginn der Bearbeitung befindet. Unter dieser Bedingung wird die Drahtelektrodezufuhreinrichtung entsprechend dem

11

vorausgehend erläuterten Verfahren der Einführung einer Drahtelektrode in das Loch eines Werkstückes zum Beginn der Bearbeitung betätigt; d.h. die Drahtelektrode (38) wird selbsttätig veranlasst, über das Loch (12a) durch das Werkstück (10) hindurchzutreten. Anschliessend wird die Drahtelektrode (38) längs des am Werkstück gebildeten Bearbeitungsortes bis zu dem Punkt bewegt, wo die Drahtelektrode gebrochen war, und der elektroerosive Bearbeitungsvorgang wird erneut begonnen. Die vorstehend beschriebene Bewegung der Drahtelektrode (38) relativ zum Werkstück (10) wird automatisch durch eine (nicht dargestellte) CNC (Computerized numerical Control)-Einheit durchgeführt, die für die mit Drahtschnitt arbeitende elektroerosive Bearbeitungsvorrichtung vorgesehen ist.

Das bekannte mit Drahtschnitt arbeitende, elektroerosive Bearbeitungsverfahren ist wie vorstehend beschrieben. Wenn es daher erforderlich ist, den Durchmesser der Drahtelektrode entsprechend einer Änderung im Bearbeitungszustand oder der Bearbeitungsform zu ändern, so muss der Bediener die Spule (82), auf der die Drahtelektrode (38) aufgewickelt ist, von Hand ersetzen, sowie die Drahtführungen (95, 97), was eine Menge Arbeit und Zeit erfordert. Ferner ist es unmöglich, die Drahtelektrode während der Bearbeitung zu ändern, und daher muss im Falle eines Werkstückes, das so bearbeitet werden soll, dass es Ecken mit kleinem Radius aufweist, eine Drahtelektrode (38) mit geringem Durchmesser über den gesamten Bearbeitungsvorgang verwendet werden, mit der Folge, dass die Bearbeitungszeit entsprechend erhöht wird.

12

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG:

A

Entsprechend ist es eine der Erfindung zugrundeliegende Aufgabenstellung, die vorausgehend beschriebenen Schwierigkeiten zu beseitigen, die bei einem üblichen, mit Drahtschnitt arbeitenden, elektroerosiven Bearbeitungsverfahren vorliegen. Insbesondere ist es eine Aufgabenstellung der Erfindung, ein mit Drahtschnitt arbeitendes, elektroerosives Bearbeitungsverfahren zu schaffen, bei dem eine Drahtelektrode selbsttätig durch eine andere mit unterschiedlichem Durchmesser ersetzt werden kann, und die Bearbeitungsbedingungen entsprechend einem Drahtelektroden Durchmesser ausgewählt werden, um einen elektroerosiven Bearbeitungsvorgang durchzuführen.

Beim erfindungsgemässen, mit Drahtschnitt arbeitenden elektroerosiven Bearbeitungsverfahren werden eine Bremsscheibe zum Anspannen einer Drahtelektrode und eine Zufuhreinheit für die Drahtelektrode für jede der Drahtelektroden unterschiedlichen Durchmessers vorgesehen, Zylinder sind jeweils lösbar mit den Zufuhreinheiten gekoppelt, die Zylinder werden, einer zu einer Zeit, betätigt, um die Zufuhreinheiten an einem Gleitstück zu befestigen, und das Gleitstück wird vertikal längs einer Drahtelektrode-Zufuhrbahn mit der daran montierten Zufuhreinheit bewegt; und bei der Bearbeitung eines Werkstückes durch Verursachung einer elektrischen Entladung werden die Drahtelektroden unterschiedlichen Durchmessers selbsttätig untereinander ersetzt, und die Bearbeitungsbedingungen werden selbsttätig aus Datentabellen ausgewählt, die Bearbeitungszustände und die Ersetzungsbeträge enthalten, die für die

Drahtelektrodendurchmesser und die Bearbeitungsverfahren vorgegeben sind.

In den Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 eine erläuternde Darstellung der Anordnung einer Bearbeitungsvorrichtung, die ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemässen, mit Drahtschnitt arbeitenden, elektroerosiven Bearbeitungsverfahrens ausführt;
- Fig. 2 eine Schnittansicht wesentlicher Bauelemente der in Fig. 1 dargestellten Bearbeitungsvorrichtung;
- Fig. 3 und 4 erläuternde Darstellungen, die ein Ausführungsbeispiel eines Bearbeitungsvorganges angeben, der gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren erfolgte;
- Fig. 5, 6 und 7 Tabellen zur Beschreibung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemässen Bearbeitungsverfahrens;
- Fig. 8 eine erläuternde Darstellung der Anordnung einer bekannten Elektrode-Zufuhreinrichtung; und
- Fig. 9 eine Schnittansicht, die wesentliche Bauelemente der in Fig. 8 dargestellten Vorrichtung angibt.

14

BEVORZUGTE AUSFÜHRUNGSFORM DER ERFINDUNG:

B Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen erläutert.

Fig. 1 ist eine erläuternde Darstellung einer Drahtelektrode-Zufuhrbahn bei einem erfindungsgemässen, mit Drahtschnitt arbeitenden elektroerosiven Bearbeitungsverfahren. In Fig. 1 bezeichnet das Bezugszeichen (10) ein zu bearbeitendes Werkstück; (38a) eine erste Drahtelektrode mit beispielsweise 0,2 mm Durchmesser; (38b) eine zweite Drahtelektrode mit beispielsweise 0,1 mm Durchmesser; (82a) eine erste Spule, auf die die erste Drahtelektrode (38a) aufgewickelt ist; (82b) eine zweite Spule, auf die die zweite Drahtelektrode (38b) aufgewickelt ist; (81a) eine erste Bremsscheibe zum Anspannen der ersten Drahtelektrode (38a); (81b) eine zweite Bremsscheibe zum Anspannen der zweiten Drahtelektrode (38b); (150a) eine erste Drahtelektrode-Zufuhreinheit zur Zuführung der ersten Drahtelektrode (38a); (150b) eine zweite Drahtelektrode-Zufuhreinheit zum Zuführen der zweiten Drahtelektrode (38b); (152) ein Gleitstück, das zusammen mit der Zufuhreinheit (150a, 150b) vertikal bewegt wird; (20) einen Elektromotor zur Bewegung des Gleitstückes (151) mittels einer Zufuhrspindel (18); (151a) einen ersten Pneumatikzylinder zur Befestigung der ersten Drahtelektrode-Zufuhreinheit (150a) am Gleitstück (152) zum Abnehmen derselben von letzterem (152); (151b) einen zweiten Pneumatikzylinder zur Befestigung der zweiten Drahtelektrode-Zufuhreinheit (150b) am Gleitstück (152) und zum Abnehmen derselben von letzterem (152); (155a)

15

eine erste Führungsscheine zur Befestigung der Zufuhreinheit (150a) am Gleitstück (152), und zum Abnehmen derselben von ihm; (155b) eine zweite Führungsscheine zur Befestigung der Zufuhreinheit (150b) am Gleitstück (152), und zum Abnehmen desselben von ihm; (154a, 154b) ein erstes und zweites Führungsrohr, die an den Zufuhreinheit (150a, 150b) befestigt sind, um jeweils die Drahtelektrode (38a, 38b) zu führen; (153a) eine obere Führungseinheit; und (153b) eine untere Führungseinheit.

Fig. 2 ist eine Schnittansicht, die die obere Führungseinheit (153a) und die untere Führungseinheit (153b) deutlicher darstellt. In Fig. 2 bezeichnen die Bezugszeichen (160a, 160b) Führungen mit V-förmigem Querschnitt; (161a, 161b) halternde Führungen; (162a, 162b) elektrische Speiseleitungen zur Zufuhr von elektrischem Strom zu den halternden Führungen (161a, 161b) und zur Drahtelektrode; (166a, 166b) Blöcke zur jeweiligen Befestigung der elektrischen Speiseleitungen (162a, 162b); (163a, 163b) Pneumatikzylinder zur Bewegung der Blöcke (166a, 166b) jeweils weg von den Führungen (160a, 160b); (164a, 164b) Pneumatikleitungen zur Zufuhr von Antriebsluft jeweils zu dem Luftzylinder (163a, 163b); und (165a, 165b) Druckfedern, um jeweils die Blöcke (166a, 166b) gegen die Führungen (160a, 160b) zu drücken.

Es wird nunmehr der Betrieb einer selbsttätigen Umschaltung von Elektroden unterschiedlichen Durchmessers relativ zueinander unter Bezugnahme auf Fig. 1 erläutert.

Erfindungsgemäss werden zwei Drahtelektroden, nämlich die vorstehend beschriebene erste Drahtelektrode (38a) mit

16

einem Durchmesser von 0,2 mm und die zweite Drahtelektrode (38b) mit einem Durchmesser von 0,1 mm verwendet. Die erste und zweite Drahtelektrode (38a, 38b) sind jeweils auf der ersten und zweiten Drahtelektrode-Zufuhreinheit (150a, 150b) eingesetzt. Die erste Drahtelektrode-Zufuhreinheit (150a) und die zweite Drahtelektrode-Zufuhreinheit (150b) (die gestrichelt angegeben ist) sind gemäss Fig. 1 symmetrisch relativ zueinander positioniert, und sind jeweils mit den Antriebselementen des ersten und zweiten Pneumatikzylinders (151a, 151b) verbunden. Unter diesen Umständen wird die erste Drahtelektrode (38a) mit einem Durchmesser von 0,2 mm in folgender Weise gehandhabt: Zunächst wird der Elektromotor (20) betätigt, um die Zufuhrspindel (18) anzutreiben und dadurch das Gleitstück (151) in die gestrichelt angegebene Position (A) anzuheben. Dabei wird der Pneumatikzylinder (151a) betätigt, so dass die Zufuhreinheit (150a) auf der Führungsschiene (155a) bewegt und fest am Gleitstück (152) in der Position (A) befestigt wird. Das Gleitstück (152) wird zusammen mit der Zufuhreinheit (150a) nach unten in eine (durch die fest ausgezeogene Linie angegebene) vorbestimmte Position durch den Motor (20) mittels der Zufuhrspindel (18) bewegt, und das Antriebselement des Pneumatikzylinders (151) wird gemäss Fig. 1 in die Ausgangsposition zurückgebracht. Unter dieser Bedingung ist die Drahtelektrode (38a) mit einem Durchmesser von 0,2 mm zugeführt.

Die erste Drahtelektrode (38a) mit einem Durchmesser von 0,2 mm wird durch die zweite Drahtelektrode (38b) mit einem Durchmesser von 0,1 mm in folgender Weise ersetzt: Zunächst wird das Antriebselement des ersten

17

Pneumatikzylinders (151a) für die erste Drahtelektrode zur vorgegebenen Position in Richtung der Achse der Drahtelektrode (38a) bewegt, und darauf wird der Motor (20) betätigt, um die Zuführspindel (18) anzutreiben und dadurch das Gleitstück (154a) gemäss Fig. 1 in die Position (A) anzuheben. Bei diesem Vorgang steht die erste Drahtelektrode (0,2 mm Durchmesser)-Zufuhreinheit (150a) in Eingriff mit dem Antriebselement des Pneumatikzylinders (151a). Anschliessend wird der Pneumatikzylinder (151a) betätigt, um das Antriebselement zur Ausgangsposition zurückzubringen, so dass die erste Drahtelektrode (0,2 mm Durchmesser)-Zufuhreinheit (150a) vom Gleitstück (152) gelöst wird und in der gestrichelt angegebenen Stellung gehalten wird. Anschliessend wird das Antriebselement des zweiten Pneumatikzylinders (151b), das mit der zweiten Drahtelektrode-Zufuhreinheit (150b) in Eingriff steht, in die vorgegebene Position in Achsrichtung bewegt, so dass die zweite Drahtelektrode-Zufuhreinheit (150b) fest am Gleitstück (152) montiert ist, das sich in einer Position befindet, wo es von der ersten Drahtelektrode-Zufuhreinheit (150a) gelöst worden ist. Dabei wird der Motor (20) betrieben, um das Gleitstück (152) nach unten mit Hilfe der Zufuhrspindel (18) in die vorgegebene Position zu bewegen. Die Zufuhreinheit (150b) wird in der vorgegebenen Position gehalten, und das Antriebselement des zweiten Pneumatikzylinders (151b) wird in die Ausgangsposition zurückgebracht. Somit ist die erste Drahtelektrode (38a) mit einem Durchmesser von 0,2 mm durch die zweite Drahtelektrode (38b) mit einem Durchmesser von 0,1 mm ersetzt worden. Erfindungsgemäss sind die erste und zweite Bremsscheibe (81a, 81b), die unabhängig voneinander sind, jeweils für die erste und für

18

die zweite Drahtelektrode vorgesehen. Daher kann, welche Elektrode auch immer verwendet wird, diese zweckentsprechend gespannt werden.

Der Betrieb der Zuführung der Drahtelektrode, die in der vorausgehend beschriebenen Weise ausgewählt und eingestellt wurde, wird nunmehr beschrieben. Wie in Fig. 2 dargestellt ist, umfasst die obere Führungseinheit (153a): die Führung (160a) mit V-förmigem Querschnitt; und den Block (166a), der die elektrische Speiseleitung (162a) festlegt und die halternde Führung (161a), die der Führung (160a) gegenüber liegt. In ähnlicher Weise umfasst die untere Führungseinheit (153b): die Führung (160b) mit U-förmigem Querschnitt; und den Block (166b), der die elektrische Speiseleitung (162a) festlegt und die halternde Führung (161b), die der Führung (160b) gegenüber liegt. Bei einem selbsttätigen Drahtelektrode-Zufuhrvorgang werden die Pneumatikzylinder (163a, 163b) gegen die Federkräfte der Druckfedern (165a, 165b) mittels der durch die Luftleitungen (164a, 164b) zugeführten Antriebsluft bewegt, so dass die Blöcke (166a, 166b) jeweils von den Führungen (160a, 160b) wegbewegt werden. Dabei bewegt sich das Gleitstück (152) aus der vorgegebenen Position nach unten, so dass das Führungsrohr (154) durch die obere Führungseinheit (153a) und das Loch (12a) des Werkstückes (10) für den Beginn der Bearbeitung in die untere Führungseinheit (153b) eingeführt wird. Anschliessend werden in der Zufuhreinheit (150) zwei Scheiben (24, 26) angetrieben, um die Drahtelektrode (38) durch das Führungsrohr (154) vorzuschieben. Nachdem die Drahtelektrode (38) eine Drahtelektrode-Aufnahmeeinheit erreicht hat, die die Rollen (79a bis 79e) umfasst, wird

das Gleitstück (152) in die Ausgangsposition zurückgebracht, und entsprechend wird das Führungsrohr (154) ebenfalls nach oben bewegt. Anschliessend wird die Zufuhr von Antriebsluft über die Rohrleitungen (164a, 164b) unterbrochen, so dass die Blöcke (166a, 166b) jeweils durch die Federkräfte der Druckfedern (165a, 165b) gegen die Blöcke (160a, 160b) gedrückt werden. Infolgedessen wird die Drahtelektrode (38) durch die halternden Führungen (161a, 161b) fest gegen die Führungen (160a, 160b) gedrückt. Somit ist die Zufuhr der Drahtelektrode (38) durchgeführt, und es kann der Bearbeitungsvorgang beginnen. Die vorstehend beschriebenen Vorgänge werden abhängig von Befehlen einer (nicht dargestellten) NC-Einrichtung durchgeführt; d.h. es kann ein sogenannter "programmierter Betrieb" ausgeführt werden. Anders ausgedrückt, der Ersatz der Drahtelektrode und die Bearbeitung des Werkstückes werden selbsttätig erreicht. Bei der vorstehend beschriebenen Ausführungsform werden die Zylinder (151a, 151b, 163a, 163b) mittels Druckluft betätigt; es versteht sich jedoch, dass sie mit hydraulischem Druck oder anderen Fluiden betätigt werden können.

Ein Verfahren zur Bearbeitung eines Werkstückes mit einer mit Drahtschnitt arbeitenden, elektroerosiven Bearbeitungsvorrichtung mit der vorstehend beschriebenen, selbsttätigen Drahtelektrode-Austauschvorrichtung wird unter Bezugnahme auf den Fall beschrieben, bei welchem das Werkstück gemäss Fig. 3 bearbeitet wird. Wie aus Fig. 3 hervorgeht, kann das Werkstück mit hoher Effizienz bearbeitet werden, indem die erste Drahtelektrode (38a) (mit einem Durchmesser von 0,2 mm) des Bereiches (A) und

die zweite Drahtelektrode (38b) (mit einem Durchmesser von 0,1 mm) für den Bereich (B) verwendet wird. Die Fig. 5, 6 und 7 sind Tabellen zur Anzeige von Bearbeitungsmustern eines Grobbearbeitungsvorganges (erster Schnitt) bis zu einem Endbearbeitungsvorgang (n-ter Schnitt). In den Fig. 5, 6 und 7 ist $dA = 0,2$, was der Durchmesser der ersten Drahtelektrode (38a) mit 0,2 mm Durchmesser ist; dB ist 0,1, was der Durchmesser der zweiten Drahtelektrode (38b) mit 0,1 mm Durchmesser ist; EA und EB sind Bearbeitungsbedingungen bezüglich der ersten und zweiten Elektrode, die jeweils für die Bearbeitungsstufen EAl bis EAn und EBl bis EBn vorgesehen sind; hA und hB sind gemäss Fig. 4 die Versetzungsgrössen bezüglich jeweils der ersten und zweiten Drahtelektrode, die ebenfalls jeweils für die Bearbeitungsstufen hAl bis hAn und hBl bis hBn vorgesehen sind; und gA und gB sind die Bearbeitungsspalte, die für die erste und zweite Drahtelektrode gemäss Fig. 4 vorgesehen sind und die in den Bearbeitungsstufen unterschiedlich sind.

Es werden nunmehr die in den Fig. 5, 6 und 7 gezeigten Bearbeitungsmuster beschrieben. Die Bearbeitungsbedingungen EA und EB und die Versetzungsgrössen hA und hB in den Bearbeitungsstufen (im ersten bis vierten oder fünften Schnitt) sind als Datentabellen, die getrennt für die erste und zweite Drahtelektrode vorgesehen sind, in der nicht dargestellten NC-Einrichtung gespeichert worden, und sie werden entsprechend einem gegebenen NC-Programm selektiv ausgelesen. In den Fig. 5, 6 und 7 geben die Pfeile die Bearbeitungsfolge an. Beispielsweise in dem Fall, wo mit dem Bearbeitungsmuster gemäss Fig. 5 ein Werkstück in

Einklang mit Fig. 3 bearbeitet wird, werden im Bereich (A) der erste bis vierte Schnitt mit der ersten Drahtelektrode (38a) mit einem Durchmesser von 0,2 mm durchgeführt, und anschliessend werden für den Bereich (A) der erste bis vierte Schnitt mit der zweiten Drahtelektrode mit einem Durchmesser von 0,1 mm durchgeführt. Beim Bearbeitungsvorgang werden die Bearbeitungsbedingungen entsprechend den Bearbeitungsstufen selektiv aus den Datentabellen in der NC-Einrichtung ausgelesen. Fig. 6 gilt für den Fall, wo nur der erste Schnitt für die Bereiche (A, B) mit unterschiedlichen Drahtelektroden ausgeführt wird; genauer gesagt wird für den Bereich (A) der erste Schnitt mit der ersten Drahtelektrode (38a) mit 0,2 mm Durchmesser ausgeführt, und anschliessend wird für den Bereich (B) der erste Schnitt mit der zweiten Drahtelektrode (38b) mit einem Durchmesser von 0,1 mm ausgeführt, und für beide Bereiche (A, B) werden der zweite bis vierte Schnitt mit der zweiten Drahtelektrode (38b) mit einem Durchmesser von 0,1 mm ausgeführt. Anders gesagt, der erste Schnitt des Bereiches (A) wird mit der ersten Drahtelektrode mit einem Durchmesser von 0,2 mm durchgeführt, um dadurch die Grobbearbeitungszeit zu verringern, der Endbearbeitungsvorgang (der zweite bis vierte Schnitt), bei dem die Bearbeitungsgeschwindigkeit nicht vom Drahtelektrodendurchmesser abhängt, wird mit der zweiten Drahtelektrode mit einem Durchmesser von 0,1 mm durchgeführt. Da der zweite bis vierte Schnitt nur mit der Drahtelektrode mit 0,1 mm Durchmesser durchgeführt werden, muss die Versetzungsgröse $hA1$ des ersten Schnittes um den Unterschied zwischen den Bearbeitungsspalten gA und gB der ersten und zweiten Drahtelektrode (mit einem Durchmesser von 0,2 mm und 0,1 mm) korrigiert werden. Das heisst, es

ist notwendig, keine Stufen in der Oberfläche zu machen, für welche der erste Schnitt durchgeführt wurde. Diesem Erfordernis kann genügt werden, indem die Spalte, die aus den Drahtelektroden Daten und der Kombination der Drahtelektroden Durchmesser bestimmt sind, als Datentabellen in der NC-Einrichtung gespeichert werden. Im Falle der Fig. 7 werden, nachdem der erste und zweite Schnitt des Bereiches (A) mit der ersten Drahtelektrode (38a) mit 0,2 mm Durchmesser ausgeführt wurden, und anschliessend die erste Drahtelektrode (38a) mit der zweiten Drahtelektrode (38b) mit einem Durchmesser von 0,1 mm ersetzt wurde, um den ersten und zweiten Schnitt des Bereiches (B) vorzunehmen, anschliessend der dritte bis fünfte Schnitt beider Bereiche (A, B) mit der gleichen zweiten Drahtelektrode (38b) durchgeführt. In diesem Falle sollte, wenn der zweite Schnitt des Bereiches (A) durchgeführt worden ist, keine Stufe in der Bearbeitungsfläche gebildet werden. Diesem Erfordernis kann genügt werden, indem der Unterschied zwischen den Bearbeitungsspalten (gB2-gA2) im zweiten Schnitt Daten zur Korrektur der Versetzungsgrössen addiert werden. Wie vorstehend beschrieben wurde, werden die Bearbeitungsbedingungen und Versetzungsgrössen, die für die Drahtelektroden und die Bearbeitungsstufen vorgesehen sind, selektiv entsprechend dem NC-Programm aus den in der NC-Einrichtung gespeicherten Datentabellen ausgelesen.

Wie aus der vorstehenden Beschreibung hervorgeht, werden erfindungsgemäss Drahtelektroden mit unterschiedlichem Durchmesser selbsttätig entsprechend der Bearbeitungsgestaltung untereinander ersetzt und der Bearbeitungsvorgang und die Bearbeitungsbedingungen, die

sich für den Durchmesser einer zu verwendenden Drahtelektrode eignen, werden zur Bearbeitung des Werkstückes ausgewählt. Daher kann ein Werkstück mit der Drahtelektrode bearbeitet werden, die für die Bearbeitungsgestaltung am zweckmässigsten ist. Somit hat das erfindungsgemässe, mit Drahtschnitt arbeitende, elektroerosive Bearbeitungsverfahren eine hohe Bearbeitungsgenauigkeit und hohe Bearbeitungseffizienz.

MÖGLICHKEIT FÜR INDUSTRIELLEN EINSATZ:

Die Erfindung hat ein weites Einsatzgebiet in einer mit Drahtschnitt arbeitenden, elektroerosiven Bearbeitungsvorrichtung zur Bearbeitung eines Werkstückes, beispielsweise eines Metalls.

Z U S A M M E N F A S S U N G

Bei einem mit Drahtschnitt arbeitenden elektroerosiven Bearbeitungsverfahren werden Zufuhreinheiten (150a, 150b) mit Zufuhreinrichtungen für Drahtelektroden (38a, 38b) jeweils für Drahtelektroden (38a, 38b) unterschiedlichen Durchmessers vorgesehen, die Zufuhreinheiten (150a, 150b) werden, eine zu einer Zeit, durch Zylinder (151a, 151b), die jeweils lösbar mit ihnen verbunden sind, zu einer Drahtelektrode-Zufuhrbahn bewegt, so dass die Drahtelektroden (38a, 38b) unterschiedlichen Durchmessers selbsttätig untereinander ausgetauscht werden, und Bearbeitungsbedingungen werden selbsttätig entsprechend dem Durchmesser einer Drahtelektrode und den Bearbeitungsverfahren, die verwendet werden sollen, selbsttätig ausgewählt, so dass das Werkstück mit der am besten für die gegebene Bearbeitungsgestaltung geeigneten Drahtelektrode bearbeitet werden kann. Somit hat das Verfahren eine hohe Bearbeitungsgenauigkeit und Bearbeitungseffizienz.

(Fig. 1)

P A T E N T A N S P R U C H

Mit Drahtschnitt arbeitendes elektroerosives
Bearbeitungsverfahren, dadurch
g e k e n n z e i c h n e t ,

dass eine Bremsscheibe (81a, 81b) zum Anspannen einer
Drahtelektrode (38a, 38b) und eine Zufuhreinheit, die eine
Drahtelektrode-Zufuhreinrichtung (150a, 150b) und ein
Führungsrohr umfasst, in das eine Drahtelektrode
eingeführt wird, für jede Drahtelektrode unterschiedlichen
Durchmessers vorgesehen sind;

dass Zylinder (151a, 151b) jeweils lösbar mit den
Zufuhreinheiten verbunden sind, dass die Zylinder betätigt
werden, um die Zufuhreinheiten (eine zu einem Zeitpunkt),
an einem Gleitstück (152) zu befestigen; und

dass das Gleitstück (152) mit der daran befestigten
Zufuhreinheit längs einer Drahtelektrode-Zufuhrbahn bewegt
wird; und

dass bei Bearbeitung eines Werkstückes durch Verursachung
einer elektrischen Entladung in einem schmalen Spalt
zwischen dem Werkstück (10) und der kontinuierlich
zugeführten Drahtelektrode, die Drahtelektroden mit
unterschiedlichem Durchmesser selbsttätig entsprechend den
Bearbeitungsgestaltungen und Bearbeitungsvorgängen
untereinander ausgetauscht werden; und

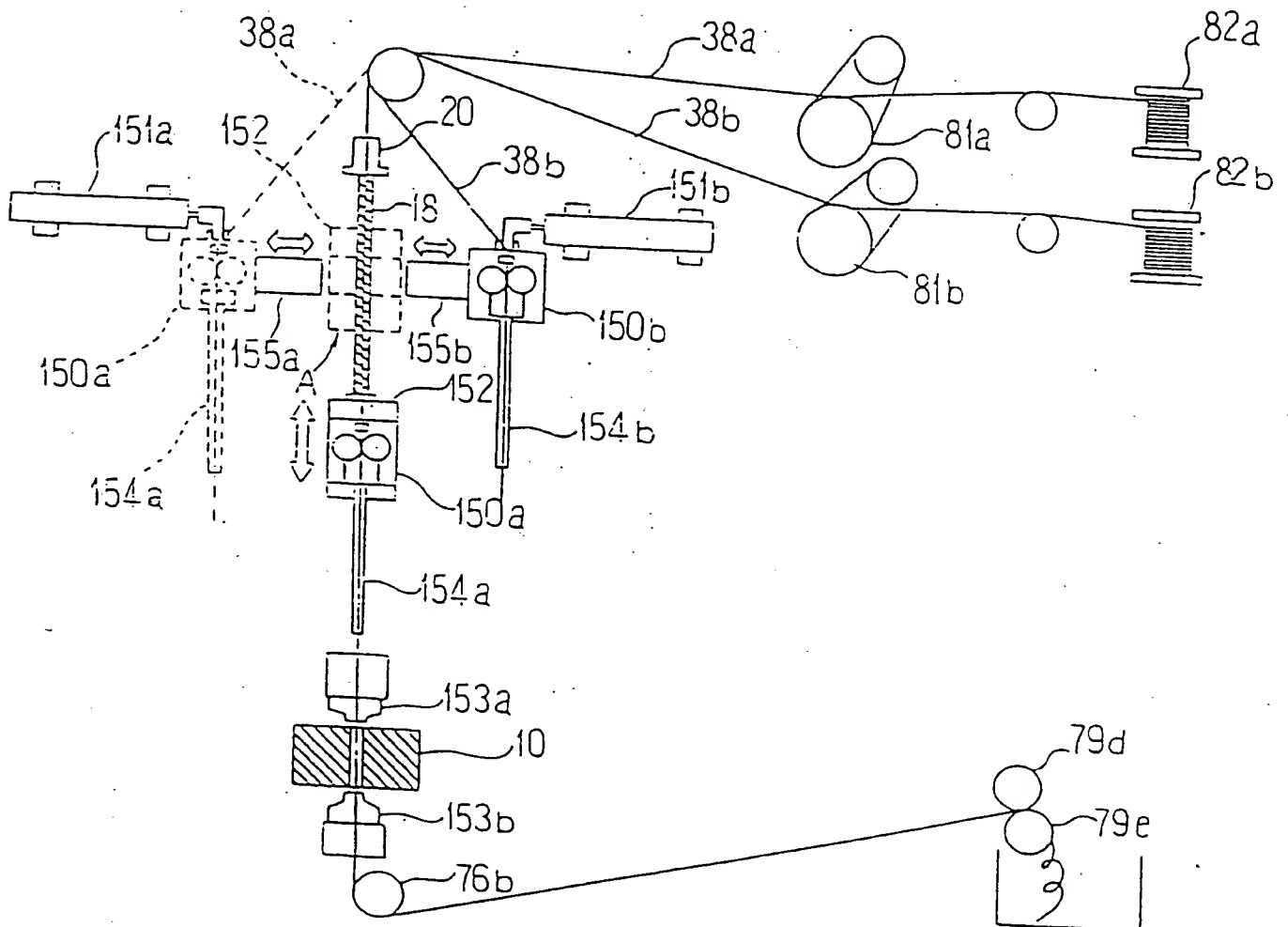
26

dass entsprechend dem Durchmesser der Drahtelektrode und dem Bearbeitungsvorgang, die verwendet werden sollen, die Bearbeitungsbedingungen selbsttätig aus Datentabellen ausgewählt werden, die die Bearbeitungsbedingungen und Versetzungsgrößen enthalten, die für die Drahtelektroden Durchmesser und Bearbeitungsvorgänge vorgegeben sind.

- Leerseite -

33

Fig. 1



21 12 00

3991622

28

Fig. 2

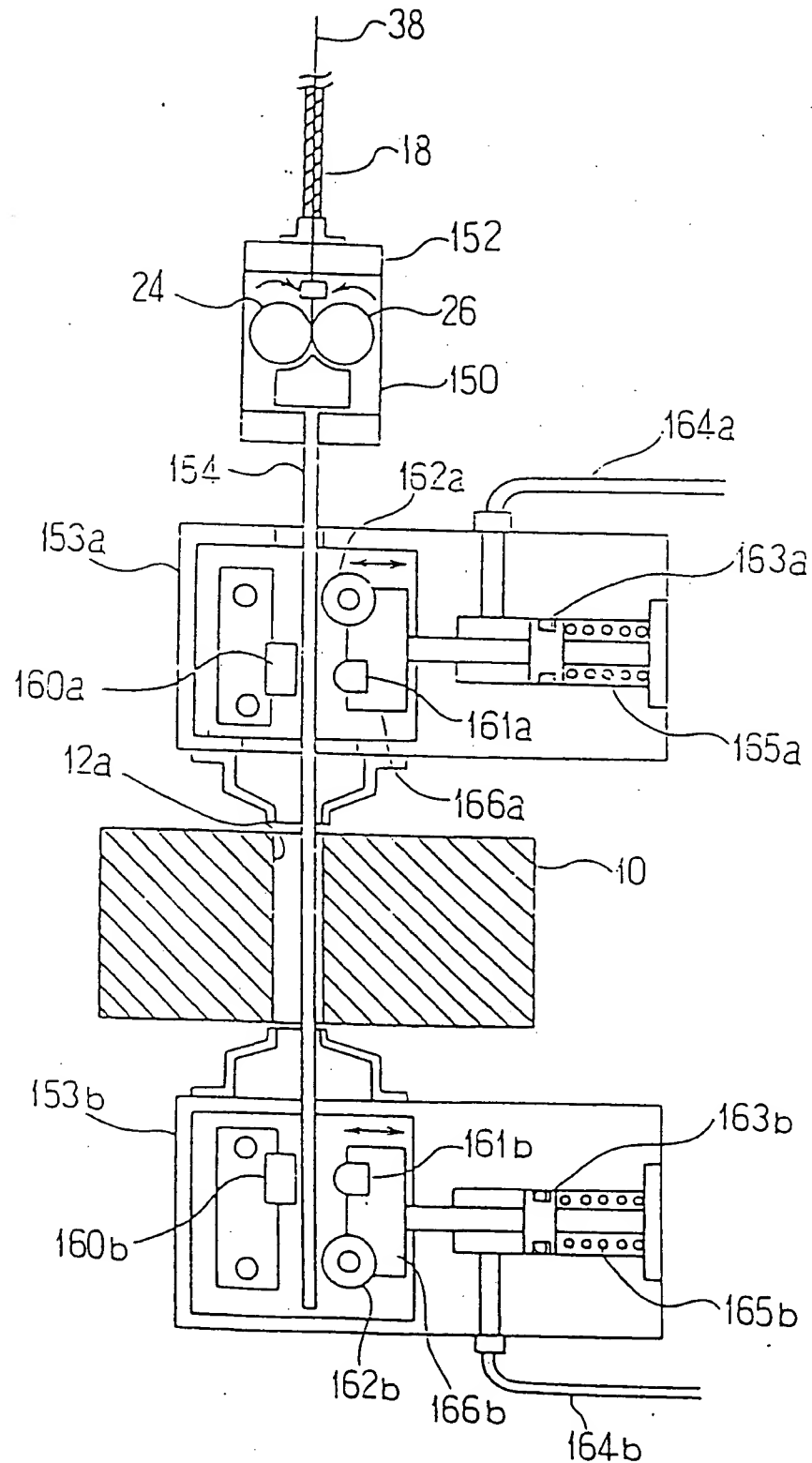


Fig. 3

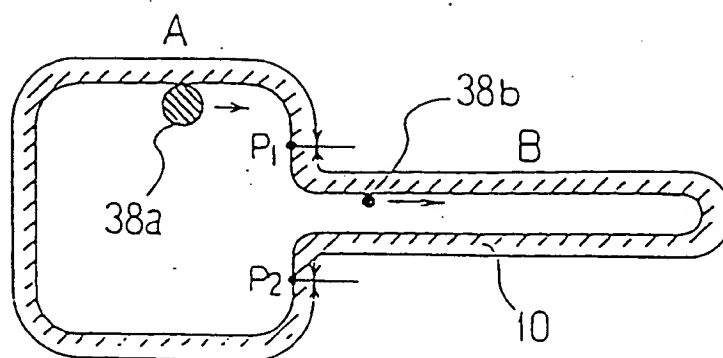


Fig. 4

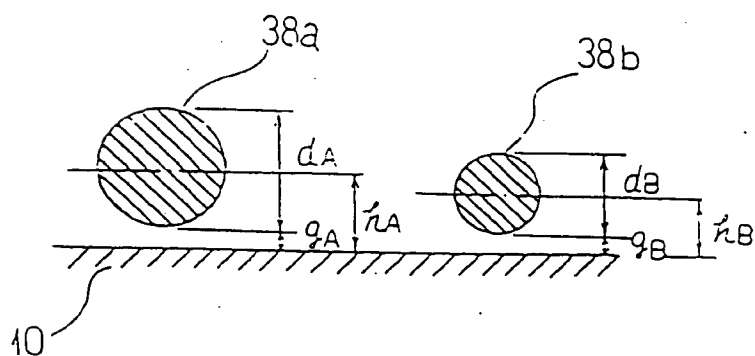


Fig. 5

Bearbeitungsabschnitt
(machining portion)

B-Abschnitt

Schnitt cut	加工部 加工数	A - Abschnitt A Portion	B - Abschnitt B Portion
1. st		$d_A \cdot E_{A1} \cdot h_{A1}$	$d_B \cdot E_{B1} \cdot h_{B1}$
2. nd		$d_A \cdot E_{A2} \cdot h_{A2}$	$d_B \cdot E_{B2} \cdot h_{B2}$
3. rd		$d_A \cdot E_{A3} \cdot h_{A3}$	$d_B \cdot E_{B3} \cdot h_{B3}$
4. th		$d_A \cdot E_{A4} \cdot h_{A4}$	$d_B \cdot E_{B4} \cdot h_{B4}$

Fig. 6

Bearbeitungsabschnitt
(machining portion)

B-Abschnitt

Schnitt cut	加工部 加工数	A - Abschnitt A Portion	B - Abschnitt B Portion
1. st		$d_A \cdot E_{A1} \cdot h_{A1} \div (g_{B1} - g_{A1})$	$d_B \cdot E_{B1} \cdot h_{B1}$
2. nd		$d_B \cdot E_{B2} \cdot h_{B2}$	
3. rd		$d_B \cdot E_{B3} \cdot h_{B3}$	
4. th		$d_B \cdot E_{B4} \cdot h_{B4}$	

Fig. 7

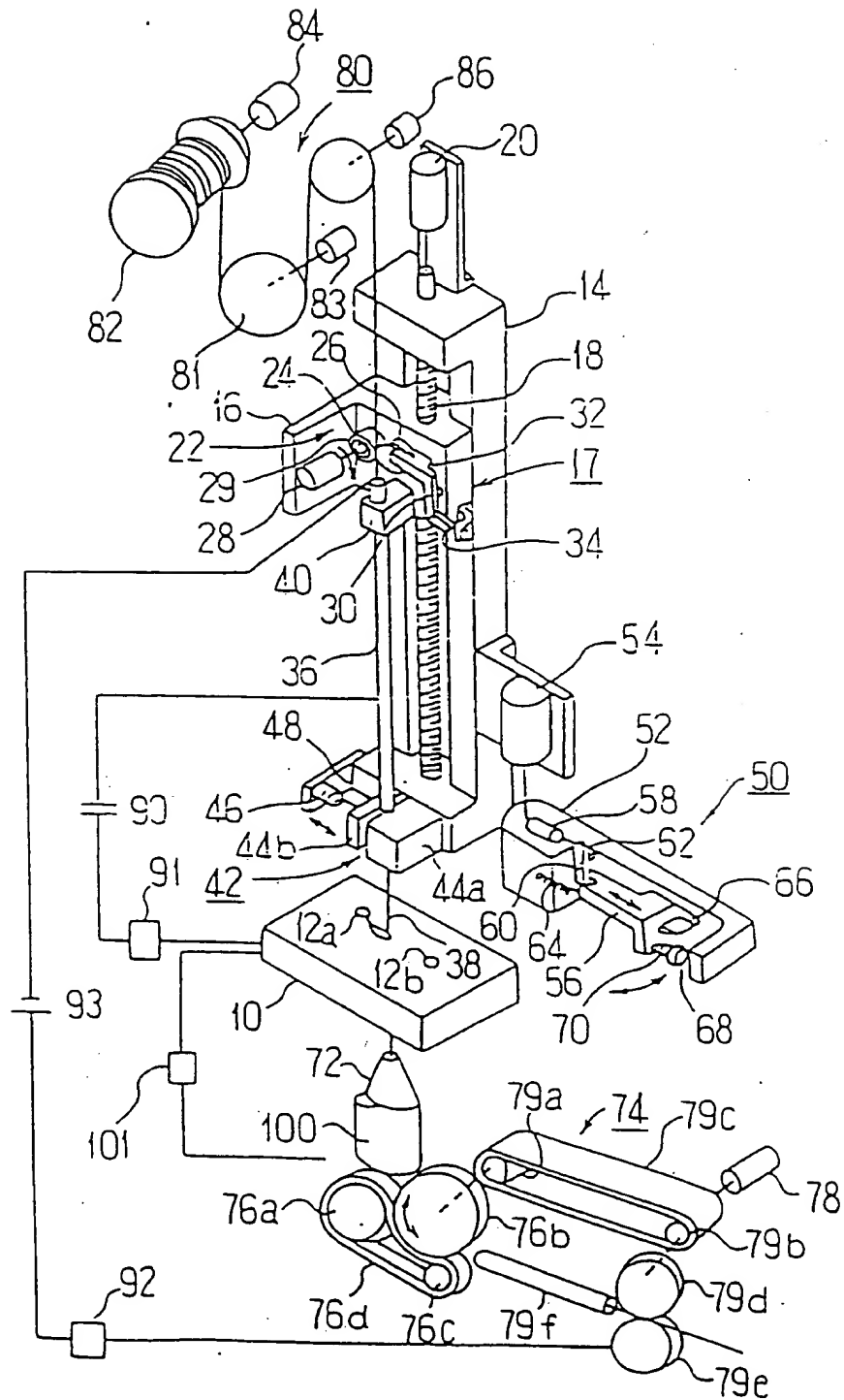
Bearbeitungsabschnitt
(machining portion)

B-Abschnitt

Schnitt cut	加工部 加工数	A - Abschnitt A Portion	B - Abschnitt B Portion
1. st		$d_A \cdot E_{A1} \cdot h_{A1} + (g_{B2} - g_{A2})$	$d_B \cdot E_{B1} \cdot h_{B1}$
2. nd		$d_A \cdot E_{A2} \cdot h_{A2} + (g_{B2} - g_{A2})$	$d_B \cdot E_{B2} \cdot h_{B2}$
3. rd		$d_B \cdot E_{B3} \cdot h_{B3}$	
4. th		$d_B \cdot E_{B4} \cdot h_{B4}$	
5. th		$d_B \cdot E_{B5} \cdot h_{B5}$	

31

Fig. 8



32

Fig. 9

